

东北黑土区农田防护林与沟谷侵蚀关系

王文娟¹, 邓荣鑫², 郝丽君³

(1. 河南财经政法大学资源与环境学院, 450046, 郑州; 2. 华北水利水电大学资源与环境学院, 450011, 郑州;
3. 华北水利水电大学建筑学院, 450011, 郑州)

摘要: 东北黑土区是中国重要的商品粮基地, 但是严重的水土流失给其粮食产量带来了严峻考验。选择东北黑土区黑龙江省的克山县作为研究区, 以 2007 年 2.5 m 分辨率的模拟真彩色合成的 SPOT5 影像为基础数据源, 获取该区的侵蚀沟分布数据; 以 2008 年分辨率为 30 m 的标准假彩色合成的 TM 影像为基础数据源, 获取该区的农田防护林分布数据, 进而从坡度、距离以及两者密度等方面, 分析典型黑土区防护林和沟蚀之间的耦合关系。结果表明: 研究区防护林密度在空间分布上沿东北—西南方向逐渐增大, 而侵蚀沟密度分布则呈现相反趋势; 随着坡度的增加, 防护林密度逐渐增大, 而侵蚀沟密度与坡度的关系则呈现相反趋势; 在距防护林 120 m 的防护距离内, 防护林对沟蚀的防护效应基本一样, 120 ~ 240 m 的防护距离内, 随着距离增加, 防护林对沟蚀的防护效应线性减弱, 而 240 m 以外的距离, 防护林对沟蚀的防护效应明显减弱; 随着防护林密度的增大, 侵蚀沟密度是减少的, 从经济和资源角度出发, 防护林密度在 1 100 ~ 1 300 m/km² 时, 对沟蚀防护效果达到最优, 可以做为防护林参考种植密度。该研究为有针对性的进行沟蚀防治提供科学指导。

关键词: 东北黑土区; 防护林; 侵蚀沟密度; 沟蚀

中图分类号: S157.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2673(2017)06-0044-08

DOI: 10.16843/j.sswc.2017.06.006

Relationship between farmland shelterbelt and gully erosion in the black soil region of Northeast China

WANG Wenjuan¹, DENG Rongxin², HAO Lijun³

(1. College of Resources and Environment Sciences, Henan University of Economics and Law, 450002, Zhengzhou, China;
2. School of Resources and Environment, North China Institute of Water Resources and Electric Power, 450011, Zhengzhou, China;
3. School of Architecture, North China Institute of Water Resources and Electric Power, 450011, Zhengzhou, China)

Abstract: [**Background**] The black soil region in Northeast China is one of the most important marketable grain basis. The serious soil erosion brings crucial challenges to the production of marketable grain. Farmland shelterbelt is a key part of the Three Norths Forest Protection System in Northeast China, which plays a positive role in the prevention and control of soil erosion. The study on the effect of shelterbelt on gully can provide scientific insights into gully erosion control. [**Methods**] Firstly, the typical black soil region was chosen as the study area in Keshan County, Northeast China, and the distribution of gully and farmland shelterbelt was derived by interpreting the SPOT5 imagery in 2007 and TM imagery in 2008, respectively. Then, the effect of farmland shelterbelt on gully erosion was analyzed, using the spatial analysis and mathematical statistics methods. [**Results**] Generally, the

收稿日期: 2016-10-13 修回日期: 2017-10-27

项目名称: 国家自然科学基金“东北黑土区切沟沟壁侵蚀特征及发生风险评价研究”(41601458), “基于时间序列的农田防护林年龄结构遥感识别研究”(31400612); “河南省高等学校青年骨干教师培养计划”

第一作者简介: 王文娟(1983—), 女, 博士, 副教授。主要研究方向: 遥感和 GIS 在水土流失中的应用。E-mail: wenjuan110@163.com

density of farmland shelterbelts increased from northeast to southwest, while the variation law was the opposite for the density of gully. The highest density of farmland shelterbelt occurred in the western and northwestern regions, with the density larger than $1\ 400\ \text{m}/\text{km}^2$. And the highest density occurred in northeastern region for gully, $>800\ \text{m}/\text{km}^2$. Furthermore, the defense effect of farmland shelterbelt on gully erosion varied with the defense distance. When the distance was shorter than $120\ \text{m}$, no obvious difference existed for the defense effect. When the distance ranged from 120 to $240\ \text{m}$, the defense effect decreased linearly with the increase of distance. When the distance was longer than $240\ \text{m}$, the defense effect decreased distinctly. Besides, the shelterbelt and gully density showed a highly linear relationship when the shelterbelt density ranged from 500 to $1\ 300\ \text{m}/\text{km}^2$. However, the change of gully density was not obvious when the shelterbelt density was higher than $1\ 300\ \text{m}/\text{km}^2$. [**Conclusions**] The slope, distance from the gully, and density of farmland shelterbelt were all import factors to the effect of farmland shelterbelt on gully erosion. The effect varied under different conditions of the three above mentioned factors. The farmland shelterbelt should be better planted in regions with the slope less than 8° , less than $120\ \text{m}$ far away from the gully, and with the density ranging $1\ 100 - 1\ 300\ \text{m}/\text{km}^2$ in black soil region of Northeast China. This work may provide a certain scientific suggestion for the erosion prevention and management.

Keywords: black soil region of Northeast China; shelterbelts; gully density; gully erosion

东北黑土区是中国重要的商品粮基地,但严重的土壤侵蚀成为影响黑土区农业生产的重要因素,使“北大仓”面临着再变“北大荒”的危险,而土壤侵蚀中,侵蚀沟的恶性扩张就是导致土地退化的主要原因之一。沟谷侵蚀在土壤侵蚀中占据重要位置,国外研究表明,沟蚀量可占到土壤侵蚀总量的 $10\% \sim 80\%$ ^[1],甚至高达 90% 以上^[2]。当前黑土区侵蚀沟恶性扩张,相关资料表明,东北黑土区约有大型侵蚀沟 25 万多条^[3],其侵蚀掉的耕地面积约有 40 万 hm^2 ,由此带来的粮食损失高达 14 亿 kg ,折合人民币达 5 亿多元^[4]。为了保护黑土资源,确保粮食安全以及区域可持续发展,许多学者在沟蚀方面做了大量研究,研究主要从降水、耕作方式和季节差异方面,分析坡耕地侵蚀沟发育机理^[5-6],将传统的测量与 3S 技术相结合,监测 $3 \sim 5$ 年获取几条或几十条侵蚀沟的沟蚀参数,进行沟蚀产生原因、形态特征和沟蚀量变化等方面的小尺度研究^[7-9],以及利用遥感和GIS从大的空间尺度,进行沟蚀空间分布规律、格局和动态变化等方面的研究^[10-12]。这些研究取得了较好的成果,为东北黑土区沟蚀研究提供了良好的理论和实践基础。

东北农田防护林是“三北”防护林体系中的重要组成部分,研究表明,防护林带具有涵养水源、调节径流、改良土壤和减少泥沙等作用,农田防护林在侵蚀防治方面可以起到积极作用^[13-15]。当前东北黑土区在防护林带与土壤侵蚀方面的研究,

涉及防护林对于风蚀和荒漠化的影响^[16],沟蚀与防护林之间的研究,主要是在 $2 \sim 4\ \text{km}^2$ 的小流域内,获取 10 条左右的侵蚀沟的发育参数和防护林的分布属性,就小流域内防护林带的分布规律和浅沟侵蚀规律进行分析^[17],或者根据坡耕地沟蚀发育特点与防护林带分布的相关关系,提出防护林带分布的优化方案^[18],而从几千 km^2 的大空间尺度获取纵横分布的林网,进行沟蚀分布和农田防护林之间的关系研究却鲜见报道。笔者以遥感和GIS技术作为支持,采用 2008 年TM影像和 2007 年的SPOT5影像为数据源,获取农田防护林和侵蚀沟分布数据,从大的空间尺度分析东北黑土区农田防护林和沟蚀之间的耦合关系,挖掘黑土区农田防护林对沟蚀的防护特点,试图得出一些有益规律,为有针对性地进行沟蚀防治提供科学指导,为维护国家的粮食安全和地区生态、经济和社会的可持续发展服务。

1 研究区概况

研究区选择在东北典型黑土区中的克山县($E\ 125^\circ 07' \sim 126^\circ 44'$, $N\ 47^\circ 42' \sim 48^\circ 34'$)(图1),该县位于黑龙江省西部地区,属于齐齐哈尔市辖县,该县辖 15 个乡镇,总面积约为 $3\ 322\ \text{km}^2$,其东部为克山县,南部有依安、拜泉县,西部和北部为讷河县、五大连池市。该区位于松嫩平原与小兴安岭的过渡地带,东北部、中部地区为丘陵区,西

南部地区为平原区,呈现出东北高西南低的地势,该区平均海拔高度 236 m,乌裕尔河在该区南部地区穿过,讷谟尔河流经北部地区。该区属温带季风气候,雨热同季,日照终年充足,1 月平均气温 $-22.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,7 月平均气温 $21.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,全年平均气温 $1.87\text{ }^{\circ}\text{C}$,有效积温 $2\ 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,降雨集中在 6—8 月,年降水量 499 mm,无霜期 122 d 左右,年平均风速

4 m/s。县域主要土壤类型为黑土,与局部草甸土、黑钙土相间分布。该县是我国重要的商品粮试点基地之一,素有“大豆之乡”“北国粮仓”的美誉。近年来,人口数量的急剧增加,给当地生态环境带来严重影响,植被破坏严重,水土流失加剧,土地退化问题日益突出,使该区成为东北黑土区中土壤侵蚀最为严重的地区之一。

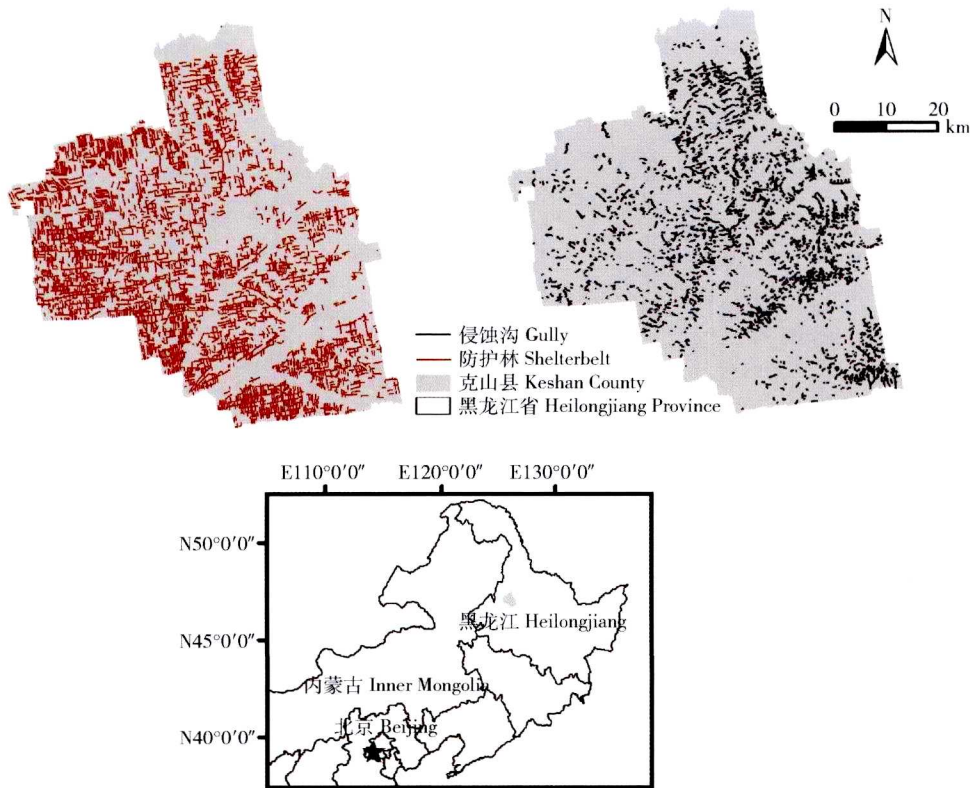


图 1 研究区位置以及防护林和侵蚀沟分布图

Fig. 1 Location of the studied area, and the distribution of shelterbelts and gully

2 材料与方法

2.1 侵蚀沟数据

沟蚀为水蚀的一种,是流水被约束在某一局地范围内的线状侵蚀方式,根据沟谷规模的大小,可以分为浅沟、切沟、冲沟和坳沟。笔者研究的侵蚀沟是在 SPOT5 影像上,能清晰反映出来的分布于耕地中的切沟以上的农田侵蚀沟。此种沟谷和坡面之间具有明显的沟缘线,在侵蚀形态、方式和强度,以及土壤性质、土地利用和植被覆盖等方面,与坡面都存在根本差别,极易识别。

所用侵蚀沟分布数据是以模拟真彩色 SPOT5 影像为基础数据源,其分辨率为 2.5 m,成像日期为 2007 年 8 月 28 日。该数据的获取首先是在室内对侵蚀沟进行预判,主要是根据侵蚀沟影像光谱特征

进行预判,针对发现的问题,于 2008 年进行 3 d 的野外调查,调查内容主要包括土壤类型、土地利用状况、岩性以及侵蚀沟的发育形态参数、沟内主要沉积物和植被生长状况。其二,结合侵蚀沟发育与分类理论,借助专家经验,建立详细完整的侵蚀沟解译标志。其三,以 ArcGIS 软件为平台,专家知识参与下,参照研究区 1990 年地形图、土壤和植被等资料,进行人机交互式判读解译,初步形成侵蚀沟空间分布数据;同时,研究组于 2009 年进行了 3 d 的侵蚀沟野外验证与补判工作,最终回到室内重新修正数据,获得整个研究区的 2007 年侵蚀沟分布数据,其解译精度在 95% 以上(图 1)。

2.2 林带数据

选取标准假彩色合成的 TM 影像,作为获取农田防护林数据的基础数据源,所用影像成像日期为

2008年6月12日,分辨率为30 m。选用该季相的主要原因是5月或6月中上旬,农田防护林与作物的光谱特征可以较好的区分,避免防护林与作物的混分。农田防护林解译初期,首先依据影像特征和专家经验,建立解译标志,在标准假彩色影像中,农田防护林的特征为线状、红色,且具有较规则的网状结构,据此初步获取研究区的农田防护林的空间分布数据;其二,为进一步了解防护林影像特征,完善解译标志,提高解译精度,进行野外验证工作,根据野外工作建立的完整解译标志,重新修正和完善农田防护林分布数据;其三,研究组于2008年9月中旬,对数据进行实地验证和补判,然后回到室内重新修正数据。结果表明,解译精度在97%以上,最终获取研究区农田防护林分布数据(图1)。

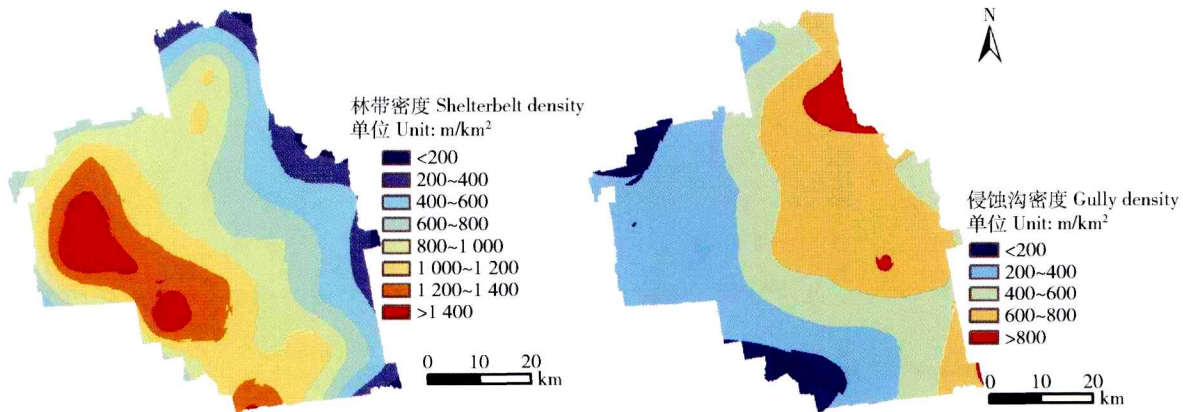


图2 研究区防护林和侵蚀沟密度图

Fig. 2 Density of shelterbelt and gully in the studied area

3 结果与分析

3.1 防护林和侵蚀沟现状

基于获取的侵蚀沟和林带分布数据(图1),研究区当前防护林带总条数为5 279条,总长度约为3 775 km,平均林带密度为1 113.73 m/km²,研究区防护林树种主要是青杨(*Populus cathayana*),防护林密集地区以网状为主,部分区域呈现L或U型,个别区域仅有单条林带,主林网的间距多在200~500 m之间,副林网间距在500~1 000 m之间,造林密度西部和南部地区较高,北部和东部地区较低;研究区侵蚀沟总条数为2 311条,总长度约为1 419 km,平均侵蚀沟密度为418.51 m/km²,研究区侵蚀沟在数量和密度上都严重,侵蚀沟如果不进行有效防治,沟头的溯源侵蚀、沟壁的不断坍塌和沟底的下切运动将导致沟长、沟宽和沟深不断拓展,使得黑土区的水土流失愈发严重。

2.3 地形数据

地形数据是对1990年的1:5万地形图进行数字化,获得地形图上的等高线和高程点,作为基础高程数据,然后采用ArcGIS中的TOPGRID算法,建立30 m×30 m的DEM,在DEM基础上提取坡度数据。

2.4 空间分析方法

在ArcGIS 10.0的支持下,采用10 km×10 km的格网作为样方量计的基本单位,对侵蚀沟和林带进行空间化,首先利用叠加分析功能,计算每一个10 km×10 km的格网单元内的侵蚀沟密度和林带密度,然后将该密度值赋予每一格网中心点,进而利用格网中心点的密度值进行空间插值,最终生成30 m×30 m的侵蚀沟密度和林带密度空间分布数据(图2)。

图2显示,研究区防护林密度沿东北-西南方向逐渐增大,其密度>1 400 m/km²的最高区域,出现在研究区西部和西南部地区;而侵蚀沟密度分布趋势正好相反,沿东北-西南方向逐渐减小,其最高值区域>800 m/km²出现在研究区东北部地区。另外,从表1可以发现,研究区防护林密度较大,密度>600 m/km²的区域占全区总面积的78.35%。其中:密度800~1 000 m/km²的区域所占面积最大,为24.11%;而研究区侵蚀沟密度200~800 m/km²的区域占全区总面积的91.7%,且200~400、400~600和600~800 m/km²区域分布面积比较均匀,分别为34.02%、24.44%和33.24%。经对比可知,研究区沟蚀状况非常严重,急需治理,东北黑土区农田防护林作为“三北”防护林的一部分,经过60多年的经营,已经成为较为稳定和高效的人工生态系统,发挥了重要的生态效应,而侵蚀沟是动态发展的,如不有效防治,其将不断扩展,将会导致土地不断退

表1 研究区防护林和侵蚀沟密度分级统计表
Tab.1 Classification of shelterbelts and gully density

密度 Density/ ($\text{m} \cdot \text{km}^{-2}$)	防护林 Shelterbelt		侵蚀沟 Gully	
	面积 Area/ km^2	比例 Percent/%	面积 Area/ km^2	比例 Percent/%
<200	24.35	0.72	185.06	5.46
200~400	217.93	6.43	1 152.89	34.02
401~600	491.86	14.51	828.36	24.44
601~800	522.63	15.42	1 126.49	33.24
801~1 000	817.03	24.11	96.51	2.85
1 001~1 200	661.59	19.52	0.00	0.00
1 201~1 400	450.46	13.29	0.00	0.00
>1 400	203.64	6.01	0.00	0.00

化,对于粮食生产和生态安全带来巨大危害。

3.2 不同坡度上防护林和侵蚀沟关系

由图3可知,研究区防护林密度随着坡度的增加,呈现出减少的趋势,对其线性拟合发现两者之间存在较好的线性关系($y = -88.306x + 1 027.5$, $R^2 = 0.9183$);而侵蚀沟密度则随着坡度的增加,呈现出增加的趋势,对其线性拟合发现两者之间也存在线性关系($y = 48.953x + 419.14$, $R^2 = 0.8847$),但是相关性不如防护林密度与坡度之间的高。对坡度 $<8^\circ$ 地区的侵蚀沟密度和坡度做线性拟合,发现两者之间存在高度的相关性($y = 73.478x + 366.09$, $R^2 = 0.9805$)。说明当坡度 $<8^\circ$ 时,随着坡度增大侵蚀密度增大,而坡度 $>8^\circ$ 后,侵蚀沟密度变化不大,分别为670.84和672.87 m/km^2 。说明坡度 $<8^\circ$ 时,坡度在侵蚀沟的形成发育上是一个具有重要影响的因子,而坡度 $>8^\circ$ 时,其对侵蚀沟的发育影响减弱,而其他影响侵蚀沟发育的因素,如汇水面积、坡长等因素可能起到更为重要的作用,使得坡度对于沟蚀的影响减弱。而对毗邻县拜泉县的相关研究也得出坡度 8° 是临界坡度。坡度 $>8^\circ$ 区域,沟蚀形成影响因素更加复杂化,需做更加深入的研究^[19]。

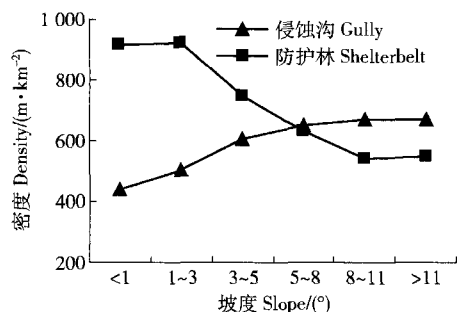


图3 不同坡度下防护林和侵蚀沟密度图

Fig.3 Density of shelterbelt and gully in the different slope

对防护林和侵蚀沟的研究发现,随着坡度的增加,防护林密度和侵蚀沟密度变化总体上呈现相反

趋势,随着防护林密度减小,侵蚀沟密度是增加的,说明防护林具有抑制沟蚀产生的作用。由进一步分析可知,在坡度 $<1^\circ$ 和 $1 \sim 3^\circ$ 2个坡度处,防护林密度变化不大,分别为914.95和922.07 m/km^2 ,而对应的侵蚀沟密度仍然增大,从440.47 m/km^2 增大到502.42 m/km^2 ,说明排除防护林密度影响,坡度在沟蚀形成发育中具有重要作用;而在坡度 $>8^\circ$ 的2个不同坡度处,防护林密度变化不大,分别为540.77和548.97 m/km^2 ,而侵蚀沟密度也无明显变化,分别为670.84和672.87 m/km^2 ,进一步说明坡度在沟蚀的形成上影响微弱。可见,在防护林营造上,要根据不同的地形部位特征,因地制宜,适度营造防护林,才能实现经济效益和生态效应的最大化,较好地实现侵蚀防治。

3.3 侵蚀沟密度与距防护林远近关系

农田防护林作为农业生态系统的重要组成部分,在防御自然灾害、防风固沙、保水固土和涵养水源等方面发挥功能,而距林网的距离是研究这些生态功能的重要方法^[18,20-21]。黑龙江省防护林营造初期,以 $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ 规格的防护林网为主,此种规格的林网偏大,使得其防护效应未能得到充分发挥,从1978以后,逐渐开始实行“小网窄带”农防林优化模式,以此改善防护林的防护效应^[22]。研究区内主林带的间距主要分布于 $200 \sim 500 \text{ m}$ 之间,随着距林带距离的增加,侵蚀沟密度呈现出逐渐增大的趋势(图4),从419 m/km^2 增大到504.80 m/km^2 ,说明距林带距离远近影响林带对于沟蚀的防护效果。

由图4可知,在不同的距离下,林带对于沟蚀的防护效果是不同的:在 $<120 \text{ m}$ 的林带防护距离内,侵蚀沟密度增加微弱,从419 m/km^2 增大到428.14 m/km^2 ;在 $120 \sim 240 \text{ m}$ 之间的防护距离内,侵蚀沟密度增长较大,从441.66 m/km^2 增大到464.98 m/km^2 ;而 240 m 以外的防护距离内,侵蚀沟密度增加最大,达

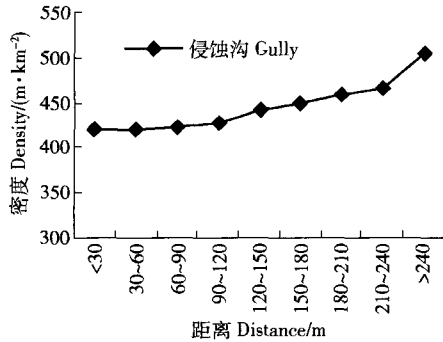


图4 距防护林不同距离下侵蚀沟密度

Fig. 4 Change of gully density with its distance to shelterbelts to 504.80 m/km². 据此可以得出,防护林对于沟蚀的防护距离,在距林带120 m 之内的防护距离内,其对沟蚀防护效应基本一样,而大于此距离,防护效应开始逐渐减弱,在120~240 m 之内的防护距离内,防护效应是随着距离增加,呈现线性递减的趋势($y = 7.8289x + 433.97, R^2 = 0.9989$),而240 m 以外的距离,防护林对于沟蚀的防护作用已经非常微弱了。研究表明,林带根系能够较好的改善土壤酶活性,但是随着林带距离的增加,土壤活性酶逐渐减少,防护林降低风速、截流水分的作用减弱,防止侵蚀的作用也随之减弱^[23-25]。

合理配置东北黑土区防护林网间距,对于沟蚀防治具有重要意义。距离过大,不能起到良好的侵蚀防治效果,而距离过小,又浪费人力物力,同时防护林协地效应影响作物的生长。当前研究区南部和东部地区农田防护林主林带的间距主要分布于200~300 m 之间,而西部、中部和北部地区防护林破碎化较严重,主林带的间距在400~600 m 之间的较多,研究区的林带间距过大,影响防护效应的发挥。徐海等^[26]引入临界坡长的概念,作为防护林间距配置的标准,而在毗邻的嫩江县的研究中得出,黑土区防护林带距离多>200 m,而此间距远大于沟蚀的最小临界坡长,导致其不能较好的起到防治沟蚀的作用^[18],该结论与笔者的研究结果一致。研究区仅就沟蚀防治而言,2条林带之间的距离在120 m 左右,就能起到很好效果,因此,加大防护林种植密度、缩小防护林带间距是防治沟蚀发生的有效方法。

3.4 防护林密度与侵蚀沟密度关系

将研究区防护林密度分为<100 m/km², 100~300 m/km², ..., 1300~1500 m/km², >1500 m/km² 共9个等级,将其与侵蚀沟密度图叠加来分析防护林和侵蚀沟之间的关系。从图5可知,总体上来说,随着防护林密度的增大,侵蚀沟密度是减少的,从

702.26 m/km²减少到263.69 m/km²,防护林密度和侵蚀沟密度之间呈现线性关系($y = -60.496x + 807.56, R^2 = 0.9203$),说明防护林对于沟蚀的防护作用是明显的,尤其是防护林密度在500~1300 m/km²之间,防护林对沟蚀的防护效果非常明显,呈现高度的线性相关($y = -113.75x + 777.31, R^2 = 0.9961$)。在>1300 m/km²时,侵蚀沟密度从315.56 m/km²减少到263.69 m/km²,说明防护林密度在>1300 m/km²时,对沟蚀的防护效果变化不很明显,较大的防护林密度并不一定起到最好的防护效果。研究表明,造林密度过大,因树木之间的竞争与它感效应,树木生长受到限制,而导致退化,进而影响树木的防护效应^[27]。

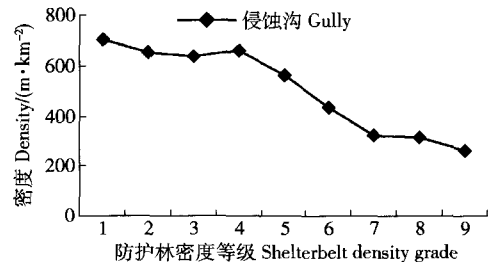


图5 侵蚀沟密度随防护林密度变化曲线

Fig. 5 Change curve of gully density with shelterbelt density

在防护林的经营管理上要实现合理配置,才能使得防护效应达到最优,同时又不浪费资源。对于研究区而言,种植密度在第7等级,即1100~1300 m/km²时,侵蚀沟密度已经减少到很小,可以达到防护效果;因此,该密度可以作为防护林防治沟蚀的参考种植密度。另外,防护林密度在500~700 m/km²处,侵蚀沟密度出现增大的趋势,经分析发现,主要与土地利用有关,这一区域是坡度较大的低山丘陵区,毁林开荒、陡坡耕种现象严重,这种不合理的土地利用方式,导致该区侵蚀沟剧增,侵蚀沟长度和支沟数量明显高于别的区域,说明合理利用土地资源,对于沟蚀防治至关重要。此外,合理配置防护林,营造乔、灌、草相结合的多树种、多层次的异龄混交林,组成多层次立体结构,可以较好的实现防护林的水土保持效益^[28]。

4 结论

笔者利用GIS技术和遥感手段,对东北黑土区农田防护林与沟谷侵蚀关系进行分析。研究表明:与人工生态系统防护林的数量、密度和长度等指标现状对比可知,研究区沟蚀状况非常严重,急需治理;防护林密度随着坡度的增加,呈现出减少的趋

势,侵蚀沟密度则呈现出增加的趋势,两者变化呈现相反趋势,防护林具有抑制沟蚀产生的作用;坡度 < 8°时,其对沟蚀形成具有主要作用,而 > 8°时,侵蚀沟形成受其他因素影响较大;防护林对沟蚀的防护效应在 < 120 m 的防护距离内基本一样,在 120 ~ 240 m 之间的防护距离,随着距离增加,防护效应减弱,而 > 240 m 以外的防护距离内,防护效应明显减弱,以 120 m 作为防护林网种植间距,对于沟蚀防治具有重要意义;防护林的种植密度需要在合适的范围内,才能起到良好的抑制沟蚀的效果,密度在 1 100 ~ 1 300 m²/km²之间,防护林对沟蚀的防护效果非常明显;此外,合理利用土地资源和进行防护林配置,对于沟蚀防治非常重要。

5 参考文献

- [1] POEREN J, NACHTERGAELE J, VERSTRAETEN G, et al. Gully erosion and environmental change: importance and research needs [J]. *Catena*, 2003, 50(2-4): 91.
- [2] KRAUSE A K, FRANKS S W, KALMA J D, et al. Multi-parameter fingerprinting of sediment deposition in a small gullied catchment in SE Australia [J]. *Catena*, 2003, 53(4): 327.
- [3] 沈波, 范建荣, 潘庆宾, 等. 东北黑土区水土流失综合防治试点工程项目概况 [J]. *中国水土保持*, 2003(11): 7.
SHEN Bo, FAN Jianrong, PAN Qingbin, et al. General situation of project for comprehensive control of soil erosion in black soil region of Northeast China [J]. *China Soil and Water Conservation*, 2003(11): 7.
- [4] 李和信, 李忠辉, 郑秀文. 忍看黑土付流波? 东北黑土区水土流失调查 [R/OL]. [2016-10-08]. <http://www.people.com.cn/GB/huanbao/55/20020815/800101.html>.
LI Hexin, LI Zhenghui, ZHENG Xiwen. Can see black soil pay flow? Survey of soil erosion in black soil region of Northeast China [R/OL]. [2016-10-08]. <http://www.people.com.cn/GB/huanbao/55/20020815/800101.html>.
- [5] 张永光, 伍永秋, 汪言在, 等. 典型黑土区小流域浅沟侵蚀季节差异分析 [J]. *地理研究*, 2008, 27(1): 145.
ZHANG Yongguang, WU Yongqiu, WANG Yanzai, et al. Seasonal discrepancy of ephemeral gully erosion in Northeast China with black soils [J]. *Geographical Research*, 2008, 27(1): 145.
- [6] 孟令钦, 李勇. 东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探 [J]. *水土保持学报*, 2009, 23(1): 7.
MENG Lingqin, LI Yong. The Mechanism of gully development on sloping farmland in black soil area, Northeast China [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(1): 7.
- [7] ZHANG Y G, WU Y Q, LIU B Y, et al. Characteristics and factors controlling the development of ephemeral gullies in cultivated catchments of black soil region, Northeast China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2007(9): 28.
- [8] WU Y Q, ZHENG Q H, ZHANG Y G, et al. Development of gullies and sediment production in the black soil region of northeastern China [J]. *Geomorphology*, 2008(101): 683.
- [9] 董一帆, 伍永秋. 利用虚拟插杆对切沟沟底不同部位短期变化的初步研究 [J]. *地理科学*, 2010, 30(6): 892.
DONG Yifan, WU Yongqiu. Short-term gully erosion at different places of bottom of gully using virtual erosion pins [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(6): 892.
- [10] 王文娟, 张树文, 方海燕. 东北典型黑土区坡沟侵蚀耦合关系 [J]. *自然资源学报*, 2012, 27(12): 2113.
WANG Wenjuan, ZHANG Shuwen, FANG Haiyan. Coupling mechanism of slope-gully system in type black soil area of Northeast China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(12): 2113.
- [11] 王文娟, 邓荣鑫, 张树文. 东北典型黑土区 40 年来沟蚀空间格局变化及地形分异规律 [J]. *地理与地理信息科学*, 2012, 28(3): 68.
WANG Wenjuan, DENG Rongxin, ZHANG Shuwen. Spatial pattern change and topographic differentia of gully erosion in the type black soil area of Northeast China during the past 40 years [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2012, 28(3): 68.
- [12] 闫业超, 张树文, 岳书平. 近 40 a 黑土典型区坡沟侵蚀动态变化 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(2): 109.
YAN Yechao, ZHAN Shuwen, YUE Shuping. Dynamic change of hill slope and gully erosion in typical area of black soil region during the past 40 years [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(2): 109.
- [13] SHI C T, Wang E H, GU H Y, et al. Soil structure characters of different soil and water conservation plantations in typical black soil region [J]. *Journal of Forestry Research*, 2010(21): 151.
- [14] 陈平, 万福绪, 唐晓岚, 等. 苏州市胥口镇城郊防护林规划研究 [J]. *北京林业大学学报(社会科学版)*, 2010, 3(1): 90.
CHEN Ping, WAN Fuxu, TANG Xiaolan, et al. Planning of suburban shelter forest in Xukou Town of Suzhou City

- [J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences), 2010,3(1): 90.
- [15] 马浩,周志翔,王鹏程,等. 基于多目标灰色局势决策的三峡库区防护林类型空间优化配置[J]. 应用生态学报,2010,21(12): 3083.
MA Hao,ZHOU Zhixiang,WANG Pengcheng, et al. Spatial optimum allocation of shelterforest types in Three Gorges Reservoir Area based on multiple objective grey situation decision[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(12): 3083.
- [16] WANG X M, ZHANG C X, HASI E, et al. Has the Three Norths Forest Shelterbelt Program solved the desertification and dust storm problems in arid and semiarid China [J]. Journal of Arid Environments, 2010(74): 13
- [17] 苏子龙,崔明,范昊明. 基于东北漫岗黑土区坡耕地沟蚀防治的防护林带布局优化[J]. 应用生态学报,2012,23(4): 903.
SU Zilong, CUI Ming, FAN Haoming. Optimization of shelterbelt distribution for the gully erosion control of cultivated slope land in rolling hill black soil region of Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012,23(4): 903.
- [18] 苏子龙,崔明,范昊明. 东北漫岗黑土区防护林带分布对浅沟侵蚀的影响[J]. 水土保持研究,2012,19(3): 20.
SUZilong,CUI Ming,FAN Haoming. Effect of shelbelts distribution on ephemeral gully erosion in the rolling hill black soil region of Northeast China[J]. Research of Soil and Water Conservation 2012,19(3):20.
- [19] 闫业超,张树文,岳书平. 克拜东部黑土区侵蚀沟遥感分类与空间格局分析. 地理科学,2007,27(2): 193.
YAN Yechao, ZHANG Shuwen, YUE Shuping. Classification of erosion gullies by remote sensing and spatial pattern analysis in black soil region of eastern Kebai [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007,27(2):193.
- [20] 范志平,曾德慧,陈伏生,等. 2004. 东北地区农田防护林结构对林网内积雪分布格局的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(2): 181.
FAN Zhiping, ZENG Dehui, CHEN Fusheng, et al. Influence of shelterbelts structure on snow distribution pattern in shelterbelts in Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2): 181.
- [21] 范志平,曾德慧,朱教君,等. 农田防护林生态作用特征研究[J]. 水土保持学报,2002,16(4): 130.
FAN Zhiping, ZENG Dehui, ZHU Jiaojun, et al. Advance in characteristics of ecological effects of farmland shelterbelts [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(4): 130.
- [22] 郝宏. 黑龙江省西部防护林体系优化模式研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2001:9.
HAO Hong. Study on the optimal model of protective forest system in the west region of Heilongjiang Province [D]. Northeast Forestry University, 2001: 9.
- [23] 王文彪,党晓宏,张吉树,等. 库布齐沙漠北缘不同作物秸秆平铺式沙障的防风效能[J]. 中国沙漠,2013,33(1):65.
WANG Wenbiao,DANG Xiaohong,ZHANG Jishu, et al. The wind-breaking efficiency of low vertical sand barriers with different materials in northern edge of Hobq desert [J]. Journal of Desert Research, 2013,33(1):65.
- [24] 高函,吴斌,张宇清,等. 行带式配置柠条林防风效益风洞试验研究[J]. 水土保持学报,2010,24(4): 44.
GAO Han, WU Bin, ZHANG Yuqing et al. Wind tunnel test of wind speed reduction of *Caragana korshinskii* Coppice [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4): 44.
- [25] 查同刚,孙向阳,于卫平,等. 宁夏地区农田防护林结构与小气候效应[J]. 中国水土保持科学,2004,2(4):82.
ZHA Tonggang, SUN Xiangyang, YU Weiping, et al. Structure and microclimate effects of shelterbelt on farmland in Ningxia[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2004, 2(4): 82.
- [26] 徐海,夏焕柏. 乌江流域坡耕地水保防护林体系建设技术研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,11(3):17.
XU Hai,XIA Huanbai. Study on structure technique of protecting forest system on sloping field in Wujiang river watershed [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1997, 11(3):17.
- [27] 欧阳君祥. 内蒙古赤峰市退化防护林改造更新研究[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(9):1.
OUYANG Junxiang. Reform and regeneration of degenerative shelter-forest in Inner Mongolia Chifeng [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2015,35(9):1.
- [28] 孙尚海,张淑芝. 应用耗散结构理论配置水保林体系及其效益研究[J]. 中国水土保持,1995(4): 23.
SUN Shanghai, ZHANG Shuzhi. Application of dissipative structure theory on configuration of water and conservation shelterbelt system and study on its benefit[J]. China Soil and Water Conservation, 1995(4): 23.